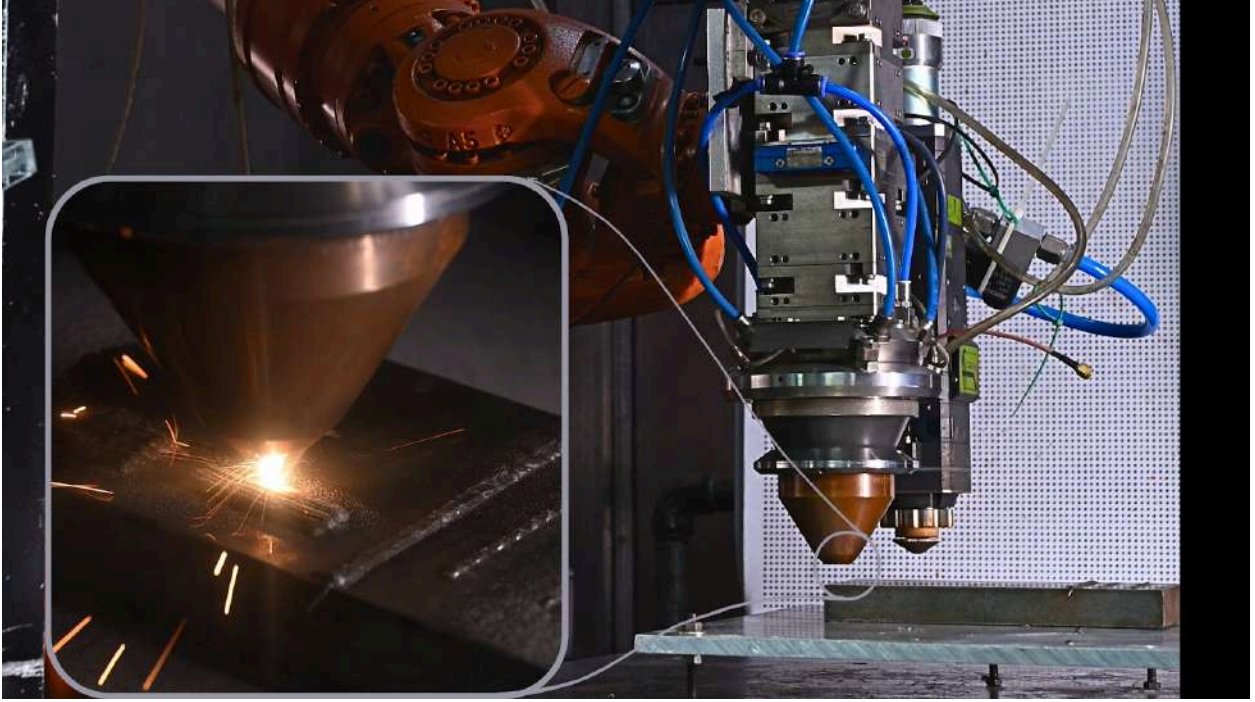


जलद व मजबूत श्री-डी धातू मुद्रणासाठी आयआयटी मुंबई ची लेझर युक्ती

उत्पादन प्रक्रिया न मंदावता धातूतील कमकुवत जागा दुरुस्त करण्यासाठी आयआयटी मुंबई चे 'लेझर रिमेल्टिंग' तंत्र



आयआयटी मुंबई च्या मशीन टूल्स प्रयोगशाळेत लेझर अँडिटिव्ह निर्मिती, प्रतिमा श्रेय: आदित्य पुराणिक

केक बनवणे आणि त्रिमितीय (3D) मुद्रण यात काय समानता असे विचारले तर दोन्ही क्रिया जर जलद गतीने किंवा घाईत केल्या तर शेवटी वेडावाकडा आणि पिचपिचीत पदार्थ मिळेल. त्रिमितीय धातू मुद्रण (3D मेटल प्रिंटिंग) जरी अत्यंत क्लिष्ट भागांच्या निर्मितीसाठी वरदान ठरले असले तरी मुद्रणासाठी लागणारा वेळ आणि ऊर्जा या बाबतीत त्यात बरीच सुधारणा करायला वाव आहे. या प्रक्रियेचा वेग नक्कीच वाढवता येऊ शकेल पण त्याबरोबर मुद्रणात बरेच संरचनात्मक दोष, पोकळ्या, कमकुवत जागा आणि पदार्थात नको असलेले काही भाग यांचा धोका संभावतो.

आयआयटी मुंबई मधील यांत्रिकी अभियांत्रिकी विभागातील पीएचडीचे विद्यार्थी राजेंद्र होडगीर, प्रा. रमेश सिंग आणि प्रा. सोहम मुजुमदार यांनी त्यांच्या एका नवीन संशोधनात मुद्रणाचा वेग वाढवण्याचे आव्हान हाताळले आहे. राजेंद्र या अभ्यासाचे प्रमुख लेखक आहेत. [त्यांच्या संशोधनात](#) त्रिमितीय मुद्रण प्रक्रियेमध्ये इन-सिटू लेझर रिमेल्टिंग (लेझर वापरून त्याच जागेवर धातू पुन्हा वितळवणे) या अतिरिक्त टप्प्याचा त्यांनी समावेश केला आहे. या पद्धतीमध्ये पुढील थर देण्यापूर्वी लेझर वापरून मुद्रित केलेला प्रत्येक थर वितळवला जातो. यामुळे धातूला पूर्वीपेक्षा अधिक मजबूती आणि अधिक चांगली घनता प्राप्त होते आणि संपूर्ण प्रक्रिया तरी सुद्धा २.५ पट अधिक जलद होते.

त्रिमितीय मुद्रण पद्धतीत पदार्थाचे अचूकपणे थरावर थर दिले जातात जे बाह्य उष्णतेने किंवा लेझर वापरून वितळून एकावर एक एकजीव केले जातात. या पद्धतीला “अँडिटिव्ह मॅन्युफॅक्चरिंग” असे ही म्हणतात,

त्रिमितीय धातू मुद्रणाच्या सर्वसामान्य पद्धतीपैकी एक म्हणजे लेझर-डायरेक्टेड एनर्जी डिपॉझिशन (एल-डीइडी), ज्यामध्ये धातूची बारीक पूड एका नॉझल मधून पाठवली जाते आणि उच्च शक्तिशाली लेझर ने वितळवली जाते आणि त्याद्वारे धातूचे एकावर एक असलेले थर एकजीव होतात. बऱ्याचदा अशा मुद्रण पद्धती गुंतागुंत असलेले भाग बनविण्यासाठी वापरल्या जातात. असे जटिल भाग सध्या उपलब्ध असलेल्या इतर निर्मिती प्रक्रिया वापरून बनवणे व्यावहारिक दृष्ट्या अशक्य किंवा अत्यंत खर्चिक आहे. ॲडिटिव्ह मॅन्युफॅक्चरिंग साठी अनुरूप उदाहरणे म्हणजे क्लिष्ट जाळीदार संरचना, गुणधर्मांचे सतत बदलणारे मान असणारे (कंटिन्युअस प्रॉपर्टी ग्रेडियंट) व अनेक पदार्थ वापरून (मल्टि-मटेरियल) बनवलेले भाग, आणि गुंतागुंतीची वक्रता असलेल्या भागाच्या आतील पोकळ वाहिन्या.

वायूअवकाश (एरोस्पेस) आणि जीववैद्यकीय (बायोमेडिकल) अभियांत्रिकी सारख्या क्षेत्रात उत्तम प्रतीच्या आणि अचूकपणे निर्मिलेल्या भागांची मागणी वाढत आहे. त्यामुळे भारताला या भागांची तसेच प्रगत त्रिमितीय मुद्रण तंत्रज्ञानाची आयात करण्याची गरज पडत आहे. मात्र धातूच्या त्रिमितीय मुद्रणाची गती वाढविण्यासाठी अनेक आव्हाने आहेत. “उच्च वेगाने धातूचा थर जमा करणे — म्हणजेच तो पदार्थ बऱ्याच मोठ्या प्रमाणात जलद गतीने मुद्रित करणे — यामुळे बऱ्याचदा सच्छिद्रता, भेगा पडणे, अवशिष्ट ताण (रेसिड्युअल स्ट्रेस) असे दोष उद्भवू शकतात,” प्रा. मुजुमदार म्हणाले. “काही परिस्थितींमध्ये पदार्थाच्या ग्रेनचा (कणांचा) आकार मोठा असेल तर एकूण संरचनेला तो कमकुवत बनवू शकतो. सामान्यपणे ग्रेनचा आकार लहान हवा असतो कारण ग्रेनच्या सीमा अडथळे बनून भेगांना पसरू देत नाहीत. यामुळे पदार्थ मजबूत आणि कणखर बनतात.”

ग्रेन्स म्हणजे सुसंगत पद्धतीने अणूंची रचना असलेले धातूमधील छोटे स्फटिकमय प्रदेश असतात. ग्रेन्सच्या आकाराबरोबरच संरचनेच्या सच्छिद्रतेकडे ही विशेष लक्ष दिले पाहिजे. वितळलेला धातू घनरूप होताना त्यात वायू अडकतात आणि छोट्या छोट्या पोकळ्या निर्माण होतात. त्यामुळे त्रिमितीय पद्धतीने मुद्रित केलेल्या संरचनेचा मजबूतपणा कमी होतो. या समस्यांवर मात करण्यासाठी सामान्यपणे तंत्रज्ञ वेळखाऊ आणि खूप ऊर्जा वापरणारे हीट ट्रीटमेंट (ऊष्मोपचार) किंवा हॉट आइसोस्टॅटिक प्रेसिंग (धातूवर मोठ्या प्रमाणात उष्णता आणि दाब देणे) यासारखे तंत्रज्ञान मुद्रणानंतर (पोस्ट-प्रोसेसिंग) वापरतात. असे दोष काढून टाकण्यासाठी शेवटपर्यंत वाट न पाहता आयआयटी मुंबई मधील संशोधकांनी मुद्रण प्रक्रिया चालू असतानाच त्यांचे निराकरण करण्याचे ठरवले. यासाठी त्यांनी पुढील थर देण्यापूर्वी आधीचा थर पुन्हा वितळवला (रिमेल्टिंग).

संशोधकांना असे आढळले की धातूला पुन्हा किंचित तापविल्यास पोकळ्या दूर होतात आणि जास्त चांगली ग्रेन संरचना मिळते. आयआयटी मुंबईच्या यांत्रिकी अभियांत्रिकी विभागातील [मशीन टूल्स प्रयोगशाळेत](#) संशोधकांनी हे संशोधनकार्य केले. यासाठी प्रा. सिंग यांच्या गटाने संस्थेतच विकसित केलेली प्रायोगिक लेझर डीइडी मांडणी वापरली. त्यांना असे आढळले की नेहमीच्या एल-डीइडी प्रक्रियेपेक्षा लेझर रिमेल्टिंग प्रक्रियेने मुद्रित केलेल्या त्रिमितीय संरचनेची सच्छिद्रता ८३% नी कमी झाली, पृष्ठभागाचा गुळगुळीतपणा ५९% नी वाढला आणि धातूचे सूक्ष्म स्तरावरील काठिण्य (मायक्रो हार्डनेस) ३४% नी वाढले. आणि याची जमेची बाजू म्हणजे या तंत्रज्ञानासाठी कोणत्याही नवीन यंत्रसामग्रीची आवश्यकता नाही. “ही प्रक्रिया आहे तेच यंत्र वापरून करता येते. फक्त पावडर बंद करायची आणि लेझर चालवायचे,” मुजुमदार यांनी नमूद केले.

यानंतरचे आव्हान म्हणजे प्रक्रियेचा वेग आणि गुणवत्ता यातील सुवर्णमध्य शोधणे. उच्च शक्तिशाली लेझर वापरून धातू जास्त खोलपर्यंत वितळवून सच्छिद्रतेची समस्या दूर होऊ शकते, पण या प्रक्रियेच्या ऊर्जेसाठी

मोठ्या प्रमाणात इंधन लागते. याउलट कमी शक्तीचा लेझर वापरल्यास जास्त चांगली ग्रेन संरचना मिळते आणि धातू जास्त मजबूत होतो. परंतु संरचनेतील दोष दूर करण्यासाठी ते तितकेसे उपयोगी ठरत नाही. संशोधकांनी वेगवेगळ्या पातळीवरील शक्ती आणि स्कॅनच्या वेगवेगळ्या गती वापरून त्यांची इष्टतम जोडी शोधण्यासाठी प्रयोग केले आणि मुद्रणाचा चांगला वेग आणि धातूचे अधिक चांगले अखंडत्व मिळवण्याच्या दृष्टीने अशी योग्य जोडी शोधली.

२००० वॉट शक्ती आणि ४०० मिमी/मिनिट ची स्कॅन गती वापरली असता स्टेनलेस स्टीलची (या अभ्यासात वापरलेला धातू SS316L) सर्वाधिक घनतेची अंतिम संरचना तयार झाली. वायूअवकाश क्षेत्रातील घटकांपासून ते जीववैद्यकीय प्रत्यारोपण आणि औद्योगिक यंत्रसामग्री पासून ते स्वयंपाकघरातील उपकरणांपर्यंत, सर्वच क्षेत्रात SS316L स्टेनलेस स्टील वापरले जाते. अधिक जलद आणि अधिक विश्वासाहर्ष त्रिमितीय मुद्रण पद्धती या उद्योगांमधील निर्मिती प्रक्रियेमध्ये आमूलाग्र बदल घडवू शकतील. तसेच प्रगत उत्पादन क्षेत्रातील भारताच्या आत्मनिर्भरतेचे ध्येय गाठण्यासाठी देशाने टाकलेले महत्त्वाचे पाऊल असेल.

“शासनाच्या आत्मनिर्भरतेच्या धोरणामुळे सध्या उत्पादन क्षेत्रात भरभराट आहे,” मुजुमदार यांनी सांगितले. इन-सिटू लेझर रिमेल्टिंग सारख्या नावीन्यपूर्ण कल्पना देशाच्या औद्योगिक व तांत्रिक क्षमता अधिक मजबूत करून देशाचे ध्येय साध्य करण्यास सहाय्य करतील. वेगवेगळ्या धातूचे औष्णिक आणि यांत्रिक गुणधर्म भिन्न असल्यामुळे हे विशिष्ट निर्देशांक सर्वसाधारणपणे त्या सर्वांना लागू होणार नाहीत. इतर धातूकरिता योग्य स्थिती शोधून काढण्यासाठी अधिक संशोधनाची गरज आहे.

संशोधक या प्रक्रियेला ऊर्जा व वेळ यांच्या बाबतीत अधिक कार्यक्षम बनवायच्या प्रयत्नात आहेत. प्रत्येक थर दिल्यावर धातू वितळवण्यापेक्षा दोन किंवा तीन थरांनंतर धातू वितळवणे अधिक किफायतशीर आहे का याचे परीक्षण ते करत आहेत. याशिवाय धातूच्या रिमेल्टिंगमध्ये वापरले जाणारे वेगवेगळे कारक धातूच्या गुणधर्मांना कसे प्रभावित करतील याचा अंदाज वर्तवण्यासाठी संशोधक संगणनात्मक प्रारूपे (कम्प्युटेशनल मॉडेल्स) देखील विकसित करत आहेत. यामुळे अद्ययावत आणि प्रभावी उत्पादन करणे शक्य होईल.

निधी बदल माहिती: या संशोधनाला भारत सरकारच्या सायन्स अँड इंजिनीअरिंग रिसर्च बोर्ड (आताचे अनुसंधान नॅशनल रिसर्च फाउंडेशन) च्या अनुदानातून निधी पुरवण्यात आला.

VETTED / UNVETTED	Vetted
Title of Research Paper	Simultaneous enhancement of build rate and microstructure in SS316L additive manufacturing through in-situ laser remelting
DOI of the Research Paper as a link	https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.11.034
Researchers	Rajendra Hodgir*, Ramesh Singh, Soham Mujumdar Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay

Email of researcher/s	sohammujumdar@iitb.ac.in
Writer name	Ankush Banerjee
Transcreator name	Deepti Phatak
Credits to Graphic:	Aaditya Puranik
Subject [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED (Multiple allowed)	Science/ Technology/Engineering /Ecology/Health/Society
Article to be Sectioned Under [FOR EDITOR] - Please Highlight in RED	Deep Dive /Friday Features/Fiction Friday/Joy of Science/News+Views/News/Scitoons/Catching up/OpEd/Featured/Sci-Qs/Infographics/Events
Social Media TAGS separated by Comma	#3DPrinting, #Manufacturing, #Metal, #AdditiveManufacturing #MetalPrinting, #IITBombay, #LaserRemelting, #MadeInIndia, #Research
Social Media Posts Suggestions/ Links to interesting relevant content [optional] [writer]	<ol style="list-style-type: none"> 1. IIT Bombay's Laser Remelting technique for 3D metal printing is fixing weak spots without slowing down production. Read details at <link> 2. Introducing in-situ laser remelting in the 3D printing process, IIT Bombay researchers use a laser that remelts each printed layer before the next one is added. Result – a structure that is stronger and denser compared to before—all while printing 2.5 times faster! Read on <link> 3. Here's how IIT Bombay researchers are accelerating the metal 3D printing process, while making the material stronger. <Link>
Social Media Handles to be added	@iitbombay
Social Media handles of writer	@ankushinscience (on X)
Social Media handles of researchers	https://www.linkedin.com/in/rajendrahodgir/ https://www.linkedin.com/in/soham-mujumdar-a25ba1b2/ https://www.linkedin.com/in/ramesh-singh-060b2b2/

Funding information (Source: Research paper)	This research was funded by SERB (now, Anusandhan National Research Foundation), Government of India. The authors wish to acknowledge the help extended by the Microstructural Mechanics and Micro-forming Laboratory (MMMMF) Mechanical Engineering Department, IIT Bombay, for microstructural characterization.
Conflict of Interest/Competing Interest information (Source: Research paper)	None
Co-PI information (Source: Research paper)	Prof Ramesh Singh and Prof Soham Mujumdar Department of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Bombay
Location:	Mumbai